

Title	均質な模型林冠下での落葉量推定に関する検討
Author(s)	斎藤, 秀樹; 四手井, 綱英
Citation	京都大学農学部演習林報告 = BULLETIN OF THE KYOTO UNIVERSITY FORESTS (1972), 43: 162-185
Issue Date	1972-03-15
URL	http://hdl.handle.net/2433/191514
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

均質な模型林冠下での落葉量推定に関する検討*

斎藤 秀樹・四手井 綱英

Studies on Estimation of Leaf Fall under Model Canopy

Hideki SAITO and Tsunahide SHIDEI

目	次
要 旨	162
はじめに	163
1. 実験の方法	165
2. リター・トラップの形および大き さが落葉推定量におよぼす影響	166
3. リター・トラップの大きさと落葉 の大きさととの関係	170
4. リター・トラップの周辺長が落葉 推定量におよぼす影響	171
5. リター・トラップの大きさと設置 数を決める方法について	172
a) 標準偏差と平均落葉推定量と の関係の検討	
b) 均質な林冠下でのリター・ト ラップの大きさと設置数	
6. 討 論	179
文 献	181
Résumé	184

要 旨

リタートラップに関する基礎的な問題を明らかにするために、均質な模型林冠をつくり人為的に落葉させて実験し、次のことがわかった。

1. 従来から使われてきた正方形、円形、正三角形の3種類のトラップによる落葉推定量には、統計的にみたばあい差は認められなかった。作り易い形のトラップを使えば良いであろう。

2. 最小トラップの大きさは、測定する落葉の最大長の約2倍の大きさ（正方形では一辺の長さ、円形では直径）で、これ以上の大きいトラップを使う必要がある。

3. 極端に細長い長方形トラップを使うと、仮りに狭い方の巾が落葉の大きさに対して2倍以上の巾があっても、この長い周辺長のために入る量が僅かだが少なくなる。たて対よこの比が4:1以上の細長い形はさけた方がよい。

4. 標準偏差 s と平均量 \bar{x} とは両対数グラフ上で実験的に直線になった。この関係はトラップの形、大きさ、葉の形（針葉形や広葉形）および一回の落葉量などに関係なく成立した。この $s \sim \bar{x}$ 関係で一番バラツキの大きい上限式は同様、

$$s = A \cdot \bar{x}^h \quad (A, h \text{ 定数})$$

で求めた。この式をつかうと実験的に $h < 1$ だから、 \bar{x} を大きくする、すなわちトラップを大きくして s を小さくし、精度を高くしてトラップの大きさ（正方形トラップの一辺長； l cm）や、全トラップによる採集面積 z (m²) を、設置するトラップ数 (n) と関係づけて求めることが出来た。すなわち、

$$l = A_l \cdot n^{h_l}$$

* Contributions from JIBP-PT No. 127

$$z = A_l \cdot n^{h_l}$$

で、定数 A_l, h_l ; A_z, h_z は葉の大きさ(樹種)ごとに決まる値である(表 5-2~3)。実験的に $h < 1$ であるから、 h_l, h_z は負の値となり、大きいトラップを少数設けるか、逆に小さいトラップを多数設けるかである。すなわち、採集面積はトラップ数を増やすことにより、少なくすることが出来る。 l と z の計算した値を表 5-4 に例示した。自然の林分でも落葉が林床で均質に分布するばあいには、これを適用することが出来る。また、測定の計画の段階においてほぼ測定精度を予測し得ると思われる。

は じ め に

植物体の枯死あるいはその一部器官の枯死によってこれらの有機物が再び林地へ返される過程は、森林生態系における最大の有機物質の供給源¹⁾であり、他の養分物質の循環の過程に比較して非常に大きいルート^{2)~5)}である。

19 世紀の後半にドイツにおいて地力の減退が問題とされ、リターフォールの測定が盛んに行なわれた^{6)~9)}のも上の重要な養分循環の過程を欠いたためである。

我が国でも古くはリターを燃料として使用し、その結果地力の減退が起ったのは一般的に知られたことである^{10)~13)}。

リターフォールの測定は A_0 層に対する興味が深まるにつれ、さかんに測られるようになった^{14)~19)}。その後、リターフォールを森林生態系の解明の一環(物質循環)として測定する必要が高まり、この分野の研究においては欠かすことの出来ない重要な測定項目^{2)~5) 20)~39) 58)~59)}となってきた。近年、リターフォールの測定の新たな目的用途として、リターフォールから生産量を推定する⁴⁰⁾、例えば葉、枝、球果、種子、花などのように生産量を測るのが困難か、あるいは労力的に困難なばあい、このリターフォールから間接的に推定する方法は非常に有効な手段²⁹⁾⁴¹⁾⁴²⁾と思われ、“つみ上げ法”^{43)~55)}を使って森林の純生産量を求めるのに利用することが出来る。

リターフォールの量がその森林の生産力そのものを示している可能性⁴¹⁾もあり、また葉の寿命と結びつけて^{41)~56)}、今後ますます測定の必要性は高まろう。なお Bray⁵⁷⁾(1964) は世界中のリターフォールに関する報告をまとめているが、これは「将来、リターを食料、飼料などの経済的原料とする」という考えで異色なものであろう。

このように測定の必要度が高まるにつれて測定精度を上げる必要も生じてきた。とくに生産力推定に利用するばあいには、幹の生長量推定など他の測定項目と同じ程度の精度が要求され、また林分相互間の比較が可能であるように、リターフォールの測定方法の確立が急がれる⁵⁸⁾。

しかしながら今までに行なわれた測定法の改良は、トラップに入ってからのリターの腐りを少なくする方向のみで行なわれ、その他のトラップの形、大きさ、設置数、配置等重要なことからはふれていない。

林地への供給量のみを測ろうとした初期の時代にあつては、落葉期の終了時にある面積の方形区を作り、その中の新しい落葉を集める方法^{6)7)10)~12)14)15)60)65)}がとられた。次の段階として落葉前に方形区を設けて²³⁾⁵⁷⁾その中の A_0 層を^{4)56)61)~64)}取り去り、あるいは集め易いように林床¹³⁾¹⁶⁾¹⁹⁾²⁰⁾⁴¹⁾に綱、ムシロ¹³⁾などをひき、その方形区内のリターを採集している。また容器を作り、林床に置いたものも²²⁾⁵⁷⁾⁶⁸⁾⁷⁷⁾ある。しかしこれらのばあい、リター採集面(トラップの底)が土と接しているから、入ったリターの腐りが進みやすく過少評価となろう。採集間隔が長いとこの影響は大きく¹³⁾¹⁹⁾⁶⁶⁾⁶⁷⁾なる。そこでトラップの底を林床から離し、腐りを少なくしようと^{17)18)67)69)~71)}試みている。以上の方形区やトラップのなかには、側壁が低く強い風で中のリターが飛散す

る危険のあるものも¹⁶⁾¹⁹⁾²²⁾⁶⁶⁾ある。サランネットを敷いただけで側壁の無いものもある⁴⁵⁾。

最近使われているトラップの傾向は、正方形ないしは円形の枠に水はけの良い化学繊維の布（寒冷紗、ゴースなど）の袋をつけ、地床から離して設けるようになった。結果的には林床から1 m 近く高くなるので下層植生のリターフォールは集まらないが、袋が深ければ風による飛散の心配もなく、またトラップ中のリターを採集しやすく測定誤差も少ない。最近数年間に盛んにこのようなトラップを使うようになった²⁶⁾²⁸⁾²⁹⁾²⁵⁾⁴⁰⁾⁵⁸⁾⁵⁹⁾⁶⁵⁾⁷²⁾⁷⁸⁾。これは Newbould⁴⁶⁾ (1967) が推薦するもので、IBP を中心にした調査はほとんどこのトラップ^{5)26)28)29)30)32)~39)77)}を用いている。

トラップの改良は、むしろ、“Seed trap” 用として古くから行なわれていた^{73)~76)82)}ようだ。

ところで、トラップの形や大きさについてみると、種々あって、作りやすく設置しやすい形、大きさがとられてきたようである。多く使われた形は方形^{77), 20), 22), 66), 71), 10), 60), 15), 11), 57), 23), 24), 67), 16)}で、1 m×1 m の正方形^{13), 69), 4), 40), 41), 63), 64), 62), 56), 79), 18), 59), 25), 5), 30), 36)}、0.5 m×0.5 m の正方形^{61), 19), 70)}が特に多いようである。

最近では円形トラップ^{17), 72), 21), 58), 68), 65), 27), 34), 35), 77), 32), 33), 37), 38)}が流行していて、大きさは1 m²以下のものである。Carlisle⁶⁵⁾ (1966) は落葉等、小枝、大枝とリターの大きさによってトラップの大きさを変えて測定している。IBP で提案されたのも太枝を別の大きい方形区を作って測定する^{46), 33), 37), 58)}ものであった。しかしこの方法は経験的に出たもので、リターの分布の仕方などの調査や実験結果にもとづいたものではない。

トラップ設置数についても上と同様で、1 個²²⁾⁶⁴⁾⁶⁹⁾のものからあり、大半は5 個^{4), 63), 79), 67), 68), 20), 13), 25)}以下である。近年は可能なかぎり多数設ける傾向^{78), 24), 58), 27), 59), 30), 32), 33), 37), 38)}があるが、これも経験的なものである。したがって、採集の全面積はまちまちである。

トラップの配置はランダム^{67), 24), 70)}か、もしくは規則的^{37), 33), 40), 57), 58), 19)}に配し、特定の場所に集中しないようにしている。Nye¹⁶⁾ (1961) は採集ごと（2 週間間隔）にトラップの位置を変えて場所差を少なくするようにしている。また、Kira⁴⁵⁾ (1967) は0.9 m~12 m の細長い網を敷き、林分の不均質さをまるめようと試みている。ただ Cornforth⁷¹⁾ (1970) は大木と大木の間に設け、Jenny⁶⁹⁾ (1949) は幹から1.8 m の場所に設けているのは異色である。

以上のように、リターフォールの測定法はトラップの改良という点ではかなり進み、ほぼ完成に近いものとなっている（これは化学繊維の布の出現におうところが大きいであろう）。しかし測定精度を上げる根本的な下記の問題はほとんどふれられず⁸⁰⁾⁸¹⁾、まったく経験的に行なわれているにすぎない。問題点としては、

- 1) トラップの形

実際に利用出来る形として円形、正方形、長方形、正三角形などの相違

- 2) トラップの大きさ

リターの大きさからみたトラップの最小の大きさと、リターの分散からみた最適な大きさ

- 3) トラップ設置数

トラップの大きさと相互関係において

- 4) トラップの配置

リターフォールの平面分布からみた適切な配置

- 5) 測定の期間

リターフォールの季節変化からみた年単位のとり方（測定開始時期）と、リターフォールの年変化からみた期間（年数）

- 6) 採集期間

入ったリターの腐り速度からみた期間

問題点 1)3)については、林分下で調べた報告が若干⁷⁷⁾²⁷⁾みられる。しかし自然の林分を使って調べると、リターフォールの分散にその林分のもつある特有の不均一さを含み、その結果はその林分でしか利用できないことが多い。

本論文は、リターフォールを測定するとき必要なトラップに関する基礎的な問題（問題点 1～3）を、均質な模型林冠をつくらせて実験的に検討を加え、さらに測定計画の段階で測定精度を把握出来るよう応用面に主体をおいて論じようとしたものである。

人工一斉林の林冠を巨視的にみると、相当均質であると考えられるが、小さな水平面積を考えその上部にある葉量をみると、個体の優劣や、樹幹の付近と樹冠と樹冠がふれあう直下の場所との間に、また、地位の微細な違いなどで、かなり差が見られるはずである。したがって、林分でえたリターフォールの分散には、上でのべた意味での林冠の不均質さに帰因する分散も含まれることになる。それ故にある林分で調べたリターフォールの分散をもとにして得たトラップの大きさや設置数は、その林分のもつある特有の不均一さをふくんだ値であり、他の林分の調査に利用することには危険性がある。

そこで、全く均質な林冠を人為的に作り、その下で落葉推定法についての基礎的な問題を取り扱った。すなわち、トラップの形の違い、トラップの大きさと落葉の大きさとの関係からみた最小のトラップの大きさ、および各種の形をもった葉——広葉形や針葉形など——の違いによる分散の違いなどである。

この模型実験で、葉を使った理由は、リターフォールの内 2/3 以上が落葉であって養分循環では一番大切なものであり、また実験のテクニックの関係からである。すなわち、大きさがほぼそろっていて、比較的小さく、縮小した小さいトラップを使った本実験には非常に有利だからである。

ここでえたトラップの大きさと設置数の値については、落葉が林床で均質に分布するばあいにも適用出来るものである。

1. 実験の方法

林冠は模型的に作った均質なものである。地上高約 1.8 m に水平にはったブラインド上に、樹木の葉を均質に並べ、これを一斉に落下させて、その下に設けたトラップでその落葉量を測定した。トラップは実際に簡単に作ることが出来る、従来から使用されている正方形、円形、正三角形、長方形とした。大きさは実際の約 1/20 の大きさを考えて作り、各形ごとに 4 ないし 5 通りとした（図 1-1）。厚紙製で側壁は 5 cm である。作った林冠はこれらのトラップを配置できるに十分な広さを持っている。

使用した葉は、ツバキ・カナメモチ・リンボク；ニセアカシア・エンジュ；ツガ；メタセコイヤとラクウショウ（短枝を除いた）；ヒマラヤシーダ・アカマツ；ヒノキである。同じ葉で同実験を 2 度行なったものもあり、また同種の葉でも大きさを大小に分け別々に実験したものもある。トラップに入った葉は、ヒノキでは重量

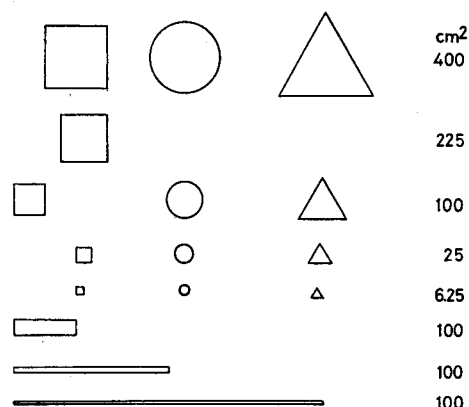


Fig. 1-1 Types and Sizes of litter traps in the experiment.

(mg) で、他の樹種は枚数と重量 (mg) で測定した。他に紙を切って作ったリター（試験用紙製の辺 0.2, 0.5, 1, 2 cm の正方形）も使った。

まず、予備的に 1.2 m×1.2 m の面積をとり、これを 10 cm×10 cm の方形区 144 個に区画し、これに葉（ツバキ、ニセアカシア、ツガ、メタセコイア、ヒノキ）を落下させて分散の均質性を調べた。たて、よこの各列 12 個づつを 1 つの級として計算すると、模型の林冠さえ均質に作れば各列間に有意差は認められなかった。紙リターを使用したばあいも同様であった。

これをもとにして次の実験を行なった。

〔実験 A〕

図 1-1 に示した全トラップを使い、一樹種につき同量の葉を 16 回落下させ、トラップの形と大きさによる違いなどを、予備的に調べた。すなわち、林分内に 16 個のトラップを設けたことになる。トラップの並べ方は一回落下ごとに変え、出来るだけ実験誤差が少なくなるよう心がけた。

〔実験 B〕

正方形トラップを全部と、100 cm² の円形、正三角形および長方形の各トラップを使い、一樹種の葉について同量を 30 回落下させた。主に葉の大きさとトラップの大きさの関係を調べた。他は実験 A と同じに行なった。

〔実験 C〕

葉長が 1 cm 以下の小さい葉が入手出来なかったので、紙を切ってリターとし、落下量を 2 通り、各 10 個ずつ落下させた。使ったトラップは 10 cm×10 cm の正方形トラップと、同面積をもつ長方形トラップ 3 種である。

2. リタートラップの形および大きさが落葉推定量におよぼす影響

実験 A の結果が図 2-1 である。たて軸はトラップに入った量で、10 cm×10 cm 当りの平均枚数又は重量 (mg; ヒノキ) で示した。よこ軸はトラップの面積である。トラップを配した全区域に入った落葉量を測り、単位面積当りの落葉量（落葉の密度と呼ぶ；枚または mg/100 cm²）を図中に点線で示した。図 2-1 から明らかのように、樹種 1~3（ヒノキ、ラクウショウ、メタセコイア）の小さい葉を使った時は、トラップ面積が 6.25 cm² の小さいものでも入った落葉量は他の大きいトラップのばあいと比べ差がみられない。これに反し樹種 4~6（ニセアカシア、カナメモチ、ツバキ）は、各実験の落葉の密度にくらべ著しく少ない。このことは、樹種 1~3 の最大葉長が、各々 3.4, 1.8, 2.5 cm でほぼ葉が入りうる大きさのトラップであるが、樹種 4~6 は各々 5.0, 9.5, 10.8 cm でトラップの大きさより大きく、入りえないことを意味している。

それ故に、樹種 4（最大葉長 5.0 cm）ではトラップ面積 25 cm² 以上で、また樹種 5, 6（最大葉長は各々 9.5, 10.8 cm）では 100 cm² 以上のトラップで落葉の密度と大差のない推定量をえている。

以上は、十分なトラップ数があれば、落葉が入り得る大きさ以上の大きいトラップを使えば入る落葉量には差はないと言えそうだ。

次にトラップの形による違いについてみてみよう。正方形、円形、正三角形のトラップに入った落葉量は、図 2-1 にみられるようにほとんど差はないようである。また実験 B で行なった 100 cm² の面積をもつ 3 種類の形のトラップの間にもほとんど差はみられない（図 2-2）。各トラップの平均落葉量を統計的に相互に比較検定しても、数個の組合せに例外はあるが、分散および平均量間には有意差は認められなかった ($P > 0.10$)。例外的な数個の組合せについてみると、形や大きさに一定の傾向はなかった。

表 2-1 に、トラップの形によって平均量に有意差の認められたもの ($P < 0.10$) について示した。

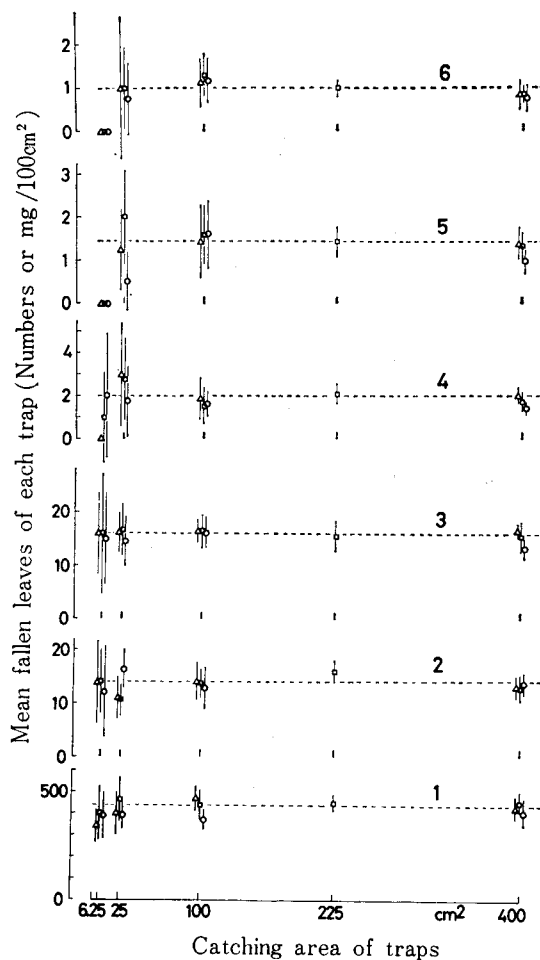


Fig. 2-1 Differences among the fallen leaves caught by the traps of three different types (Experiment A)

trap type; ○ circle □ square △ triangle

dotted line: Mean fallen leaves per 100 cm² (Number or weight (mg) /100 cm²)

Species: 1 *Chamaecyparis obtusa* (ヒノキ), 2 *Taxodium distichum* (ラクウショウ), 3 *Metasequoia glyptostroboides* (メタセコイア), 4 *Robinia pseudacacia* (ニセアカシア), 5 *Rhotinia glabra* (カナメモチ), 6 *Camellia japonica* (ツバキ), (see Tab. 3-1)

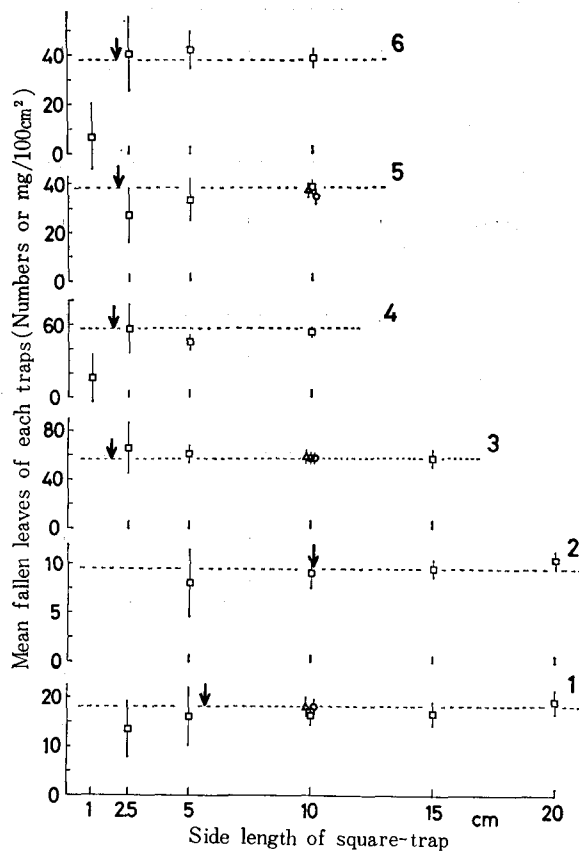


Fig. 2-2(1) Difference among the fallen leaves caught by the traps of three different types (Experiment B)

□ square ○ circle △ triangle

Arrow sign: Maximum length of fallen leaves

Species: 1 *Cedrus deodara* (ヒマラヤシーダ), 2 *Pinus densiflora* (アカマツ), 3, 4 *Tsuga Sieboldii* (ツガ), 5, 6 *Metasequoia glyptostroboides* (メタセコイア), 7 *Prunus spinulosa* (リンボク), 8, 9 *Sophora japonica* (エンジュ), 10 *Robinia pseudacacia* (ニセアカシア), 11, 12 *Chamaecyparis obtusa* (ヒノキ), (see Tab. 3-1)

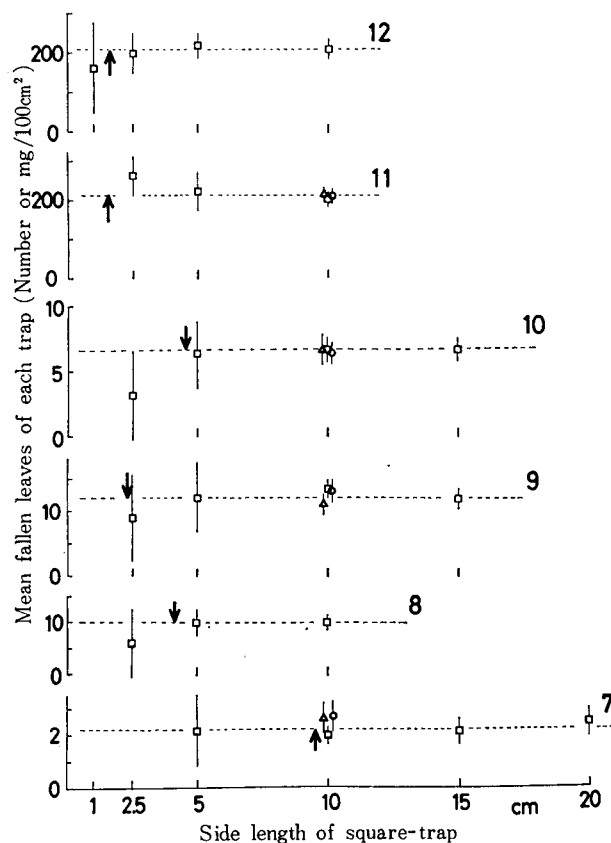


Fig. 2-2(2)

Table 2-1 Analysis on difference between trap types (only for the traps of significance at $\pm 10\%$ levels)

	Species	trap size (cm ²)	Large or small mean fallen leaves	
Exp. A	カナメモチ	25	□ > ○	Broad leaved tree
	ラクウショウ	"	□ < ○	Coniferous tree
Exp. B	リンボク	100	□ < ○	Broad leaved tree
	"	"	□ < △	"
	エンジュ	"	□ > △	"
	メタセコイア	"	□ > ○	Coniferous tree

□ square, ○ circle, △ triangle

実験Bによる結果も含めた。広葉形の葉をもつカナメモチ、エンジュでは正方形のトラップに多く入ったが、リンボクでは逆に少なくなった。同じ葉形をしたラクウショウとメタセコイアでは逆の結果がみられた。したがって、これらトラップの形によって入る量に差のあるのは、落葉量が少なすぎたり、トラップが小さすぎたりなど実験誤差によったものと考えられる。落葉量を測定するばあい、トラップの正方形、円形、正三角形の形による差は統計的には認められないと考えてよい。したがって、この3種類のトラップでは作り易いと思われる形を使えば良いだろう。

3. リタートラップの大きさと落葉の大きさとの関係

前節の結果から、作り易い正方形のトラップを主体に使用して、トラップの最小の大きさを、落葉の大きさと関係づけ求めるために新たに実験Bを行なった。

図2-2に示したように、落葉の最大長を示す矢印より右側の大きいトラップで集めた量は、どのばあいもほぼそれぞれの落葉の密度に等しい量を集めているようである。これは前節の実験Aの結果と等しい。

樹種3（ツガ）や樹種11（ヒノキ）を使った実験のトラップ2.5 cm×2.5 cmでは、落葉の密度よりも逆に25%ほど多くの量を集めたトラップもみられた。

図2-1, 2-2の結果をもとにして、実験に使った葉長（平均葉長 L_m ; cm, 最大葉長 L_{max} ; cm）と、その実験の落葉量を、落葉の密度の±10%以内で推定しえた最小の正方形トラップの一边長（ L_T ; cm）との関係を表3-1に示した。

Table 3-1 Relation between side length of square trap and leaf length

Species	Length of leaf or needle (cm)		Min. Size** of square trap (cm) L_T	L_T/L_m	L_T/L_{max}	Note	
	Mean L_m	Max. L_{max}					
ニセアカシア	3.5	5.0	5	1.4	1.0	} Robinia pseudacacia	Broad-leaved tree
〃	3.8	4.6	5	1.3	1.1		
エンジュ	3.3	4.1	5	1.5	1.2	} Sophora japonica	
〃	1.2	2.4	5	4.2	2.1		
リンボク	7.1	9.8	5	0.7	0.5	Prunus spinulosa	
ツバキ	8.8	10.8	5	0.6	0.5	Camellia japonica	
カナメモチ	7.1	9.5	10	1.4	1.0	Photinia glabra	
メタセコイア*	1.5	2.0	2.5	1.7	1.3	} Metasequoia glyptostroboides	Coniferous tree
〃	1.8	2.3	5	2.8	2.2		
〃	1.8	2.3	2.5	1.4	1.1	} Taxodium distichum	
ラクウショウ*	1.4	1.8	2.5	1.8	1.4		
ツガ	1.0	1.7	5	5.0	2.9	} Tsuga Sieboldii	
〃	1.0	1.7	2.5	2.5	1.5		
ヒマラヤシーダ	4.4	6.0	10	2.3	1.7	Cedrus deodara	
アカマツ	6.8	10.1	10	1.2	1.0	Pinus densiflora	
ヒノキ	1.6	3.4	5	3.1	1.5	} Chamaecyparis obtusa (collected in litter trap)	
〃	0.6	1.7	2.5	4.2	1.5		
〃	0.6	1.7	5	8.3	2.9		
Mean				2.5	1.5		

* Separated from short branchlets

** Side length of minimum size of square trap to be caught mean fallen leaves at ±10% levels.

また、最小トラップの大きさが葉長の何倍必要かをみるために、 L_T/L_m と L_T/L_{max} の比を求めた。 L_T/L_m は0.6~8.3にあり、小さい葉ほど L_T/L_m が大きい傾向があるが、平均すると L_T/L_m は2.5となった。使った落葉は樹種によって、大きさが良くそろっているばあいと、かなり大きさに差があるばあいがあったので、平均葉長を使うよりも、各樹種の葉の中で一番大きい葉の長さ L_{max} をつかい、 L_T/L_{max} の比を考えた方が实际的と思われる。

L_T/L_{\max} をみると、大半が1前後である。この比の2以上のものは、エンジュ、メタセコイア、ヒノキなどであった。いま L_m, L_{\max} の値についてみるとこれらは連続数であるが、一方 L_T は、1, 2.5, 5, 10, 15, 20 cm 以外の値はない。そこで、上の3樹種についての L_T の値を、表3-1にあげた値よりも一つ小さいトラップの一辺長をとったとすると、 L_T/L_{\max} は全樹種について1.5以下となる。

以上から、使用する最小トラップの大きさは、落ちてくる葉の中で一番大きい葉の長さの約1.5倍、安全性をみて2倍の大きさが必要であると言えよう。

4. リタートラップの周辺長が落葉推定量におよぼす影響

図4-1が実験AとBで行なった長方形トラップに関する結果である。たて軸の r は採集比で、各実験の落葉の密度に対する各トラップに入った量の比で示した。またよこ軸は長方形の狭い方の巾 (L_T) を L_{\max} で除した値である。図からわかるように、10 cm×10 cm や 5 cm×20 cm の

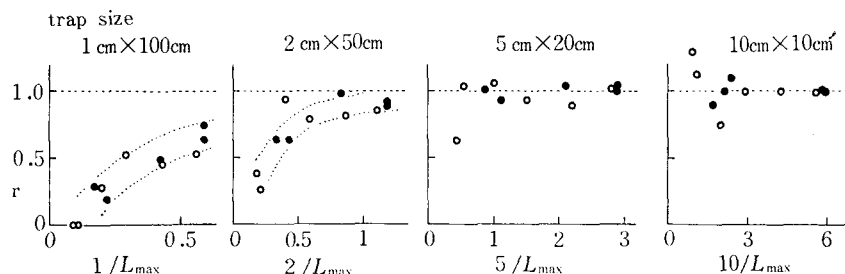


Fig. 4-1 Difference among the fallen leaves caught by the rectangular traps

○ Exp. A ● Exp. B

r : Mean fallen leaves in each trap/Mean fallen leaves per 100cm²

トラップでは r は1前後にちらばっている。しかし、トラップが 2 cm×50 cm, 1 cm×100 cm と極端に細長くなるにつれ r は1より小さくなっている。これは前節で、ふれた最小トラップの大きさの問題 (L_T/L_{\max} が2以上必要) にも帰因している部分もあろう。いま、 L_T/L_{\max} が0.5のとき r の値をみると、トラップ 5 cm×20 cm のとき 0.9~1.0, トラップ 2 cm×50 cm では 0.7~0.8, トラップ 1 cm×100 cm では 0.5~0.7であり、同じ L_T/L_{\max} でも r の値は、トラップが極端な長方形になるにつれて小さくなる。すなわち採集の効率が悪くなっていくようである。

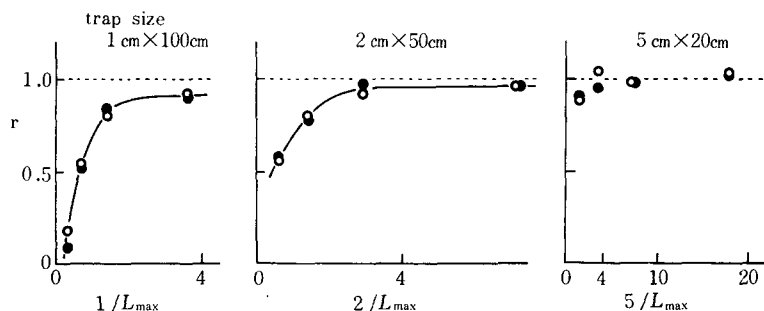


Fig. 4-2 Difference among the fallen litter caught by the rectangular traps (Experiment C)

○ Amount of fallen litter (a)

● " " (2a)

fallen litter was made of papers (size 0.2 cm×0.2cm, 0.5×0.5, 1.0×1.0, 2.0×2.0)

r : Mean fallen litter of each traps/Mean fallen litter of 10 cm×10 cm trap

そこで紙を切って小さいリターを作り実験Cを行なった。紙のリターは正方形なので、 L_{max} は各リターの一辺長の $\sqrt{2}$ 倍とした。この結果が図4-2で、この図からわかるように、トラップの大きさが紙リターに対して十分の大きさを持っているばあい (L_T/L_{max} が2以上) でも、極端に細長い形のトラップでは r は1より小さく、しかもトラップが細長いほど r は小さい値を示した。トラップ $1\text{ cm} \times 100\text{ cm}$ では L_T/L_{max} が4近くになっても、 r は0.9であり同じ採集面積をもつ正方形のトラップより10%程少ない。

以上の結果は、長方形の狭い方の巾が落葉の大きさに対し十分広くても (L_T/L_{max} が2以上)、トラップの周辺長が同じ面積をもつ円形のものに比べその周辺長が長くなると、ある形をもつ葉の落下を集めるばあいには、採集量に(一)の影響を与えると思われる。 $1\text{ cm} \times 100\text{ cm}$ の長方形の周辺長は、同じ面積をもつ円形のそれに比較して5.6倍、 $2\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ では2.8倍もある。

したがって、長方形のトラップを使用するばあいは、仮りに狭い方の巾が落葉長に対して十分の大きさがあっても、採集量が過小に推定されるので、注意が必要である。

トラップ $5\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ の周辺長は同じ大きさの円形のそれに比べ約1.4倍であり、このばあいには、図4-1, 4-2にみられたように r は1前後となっていた。したがって、 $5\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ が長方形の限度でこれより細長い形は使わない方がよからう。言いかえると、同面積の円形の周辺長に比べ1.4倍以内の周長をもつ形のトラップにするのが無難と言える。

正方形や正三角形の周辺長は、同面積の円形の周辺長に比べ各々1.13, 1.28倍であるから、これらの形については少くとも周辺長の影響はほとんどなく、落葉の大きさからみた最小の大きさのみを考慮すれば良いと思われる。

5. リタートラップの大きさと設置数を決める方法について

a) 標準偏差と平均落葉推定量との関係の検討

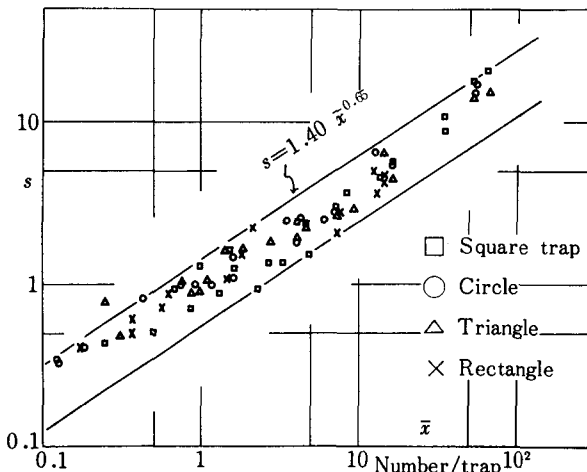


Fig. 5-1(1) $s \sim \bar{x}$ relation of fallen leaves in numbers per trap types (Experiment A)

\bar{x} : Mean fallen leaves ($= \sum x_i / n$, n : number of traps)

s : Standard deviation $= \sqrt{\{\sum \bar{x}_i^2 - (\sum \bar{x}_i)^2 / n\} / (n-1)}$

分散 s^2 は平均量 \bar{x} にかかわりあいをもつ値である。そこでトラップに入った平均落葉量 \bar{x} とその標準偏差 $s (= \sqrt{\{\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 / n\} / (n-1)}$, n : トラップ数) との関係について、両対数グラフにプロットし検討した。図5-1, 5-2はトラップの形別に図示したものである。実験A, Bともに両対数グラフ上で直線の関係が認められ、2つの平行な直線で、上限と下限を求めることが出来る。

この $s \sim \bar{x}$ 関係 (または $s^2 \sim \bar{x}$ 関係) は、生物的な根拠をもたない全く経験的な関係である。しかし、リターフォールの分散は、とくに落葉ではその形や重さなどから考えて、林冠から林床に垂直に落下するわけではない。実際には風など物理的な

作用で決定される因子が大きいのと思われる。したがって、このばあい生物学的根拠がなくても実験的に成立すれば、その成立した範囲内では十分利用価値があると考えられる。なお $s^2 \sim \bar{x}$ 関係の代りに $s \sim \bar{x}$ 関係を使ったのは、直線の勾配が 45° に近くなるためである。

さて図5-1にみられるように、トラップの形による分離はみられない。リターフォール測定にこの $s \sim \bar{x}$ 関係を使用するばあいは、分散の一番大きい値を使う必要がある。

実験Aの上限式は

$$s = 1.40 \bar{x}^{0.65} \quad (\bar{x}; \text{枚})$$

(となり、実験Bの上限式

$$s = 1.32 \bar{x}^{0.65} \quad (\bar{x}; \text{枚})$$

とほぼ一致した。

ヒノキのばあい(図5-2)にも上と同様の直線関係があるが、勾配が少し大きいようでヒノキの上限式は、

$$s = 1.45 \bar{x}^{0.80} \quad (\bar{x}; \text{mg})$$

と求めることが出来よう。

以上のように、 s と \bar{x} の間には両対数グラフ上で直線関係があり、この $s \sim \bar{x}$ 関係の上限を、

$$s = A \cdot \bar{x}^h \quad A, h \text{ は定数}$$

の形で与えることが出来た。またトラップの形が異なってもこの関係は分離しない。

次に正方形トラップについて、大きさ別に $s \sim \bar{x}$ 関係を図示した(図5-3)。図からわかるように、 $s \sim \bar{x}$ 関係はトラップの大きさに無関係と考えてよからう。

使った樹種別に $s \sim \bar{x}$ 関係を図示した(図5-4)。葉の形、たとえばツバキ、カナメモチ、ニセアカシアの広葉形のものと、メタセコイア、ラクウショウなどの長細い葉との間に分離は見られない。

実験Bでつかった葉の中で、針葉形の代表的なツガとヒマラヤシダと、広葉形の代表的なニセアカシア、エンジュ、リンボクについて、正方形トラップを使ったばあいだけの $s \sim \bar{x}$ 関係を図5-5に示した。実験Aの結果(図5-4)と同じく、葉形による分離は認められなかった。

以上から、落葉についての $s \sim \bar{x}$ 関係を両対数グラフに図示すると、トラップの形、大きさ、および樹種(葉の形)による差はみられず、 s はトラップに入る量 \bar{x} によって左右されることができよう。入った量を重量にしてみよう。

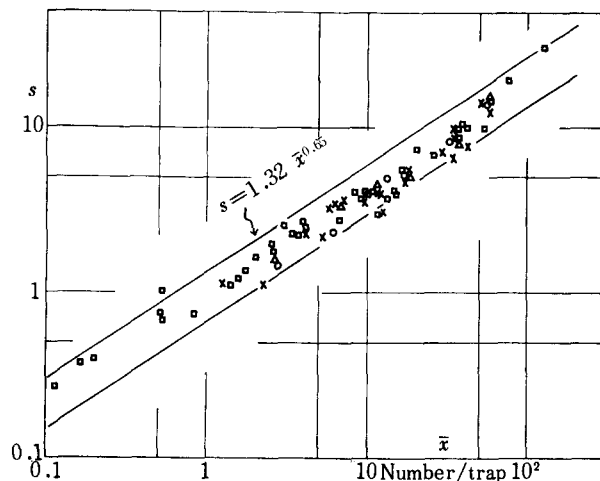


Fig. 5-1 (2) $s \sim \bar{x}$ relation of fallen leaves in numbers per trap types (Experiment B)

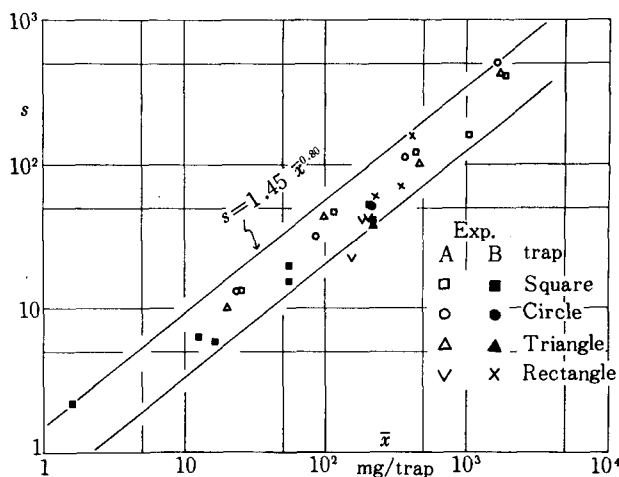
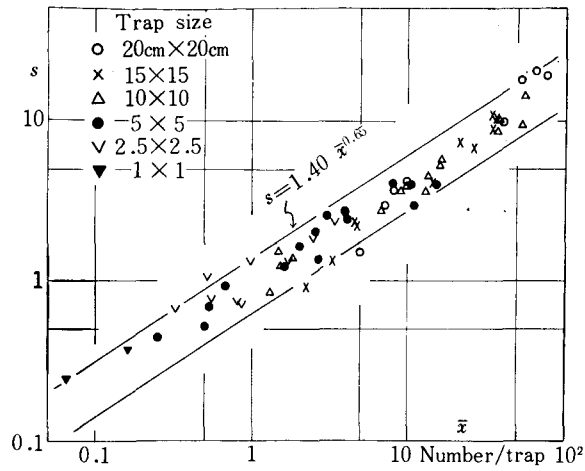
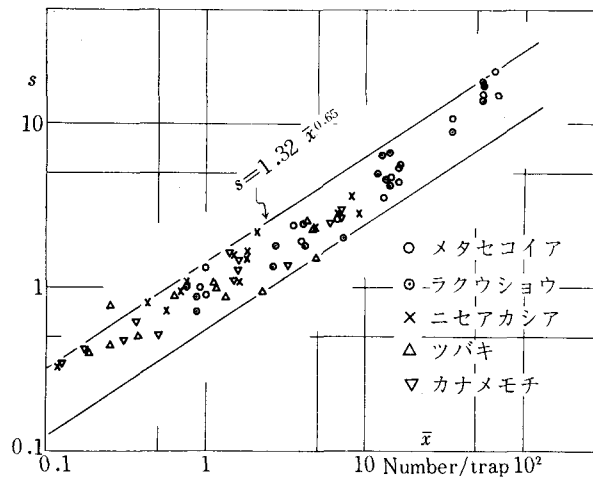


Fig. 5-2 $s \sim \bar{x}$ relation of fallen leaves in weight (mg) (for *Chamaecyparis obtusa*)

Fig 5-3 $s \sim \bar{x}$ relation of fallen leaves per sizes of square trapsFig. 5-4 $s \sim \bar{x}$ relation of fallen leaves per types of leaves (Experiment A)

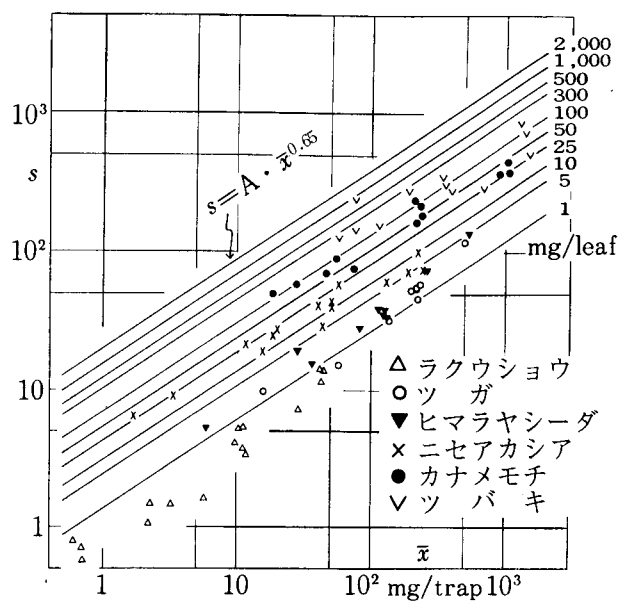


Fig. 5-6 Variation of $s \sim \bar{x}$ relation per size of a leaf
($s = A \cdot \bar{x}^{0.65}$, A : variable)

Dry weight of a leaf

Taxodium distichum (ラクウショウ)	0.8 mg/1 NO.
Tsuga Sieboldii (ツガ)	4
Cedrus deodara (ヒマラヤシーダ)	7
Robinia pseudacacia (ニセアカシア)	27
Photinia glabra (カナメモチ)	150
Camellia japonica (ツバキ)	300

Table 5-1 Values of coefficient, A and h of upper limit lines in $s \sim \bar{x}$ relations ($s = A \cdot \bar{x}^h$)

Leaf weight (dry) mg/1 No.	A			h	relevant species
	[x]: No.	[x]: mg	[x]: g		
1	↑ 1.40 ↓	1.1	0.098	↑ 0.65 ↓	ツガ トウヒ モミ アカマツ クロマツ テーダマツ アラカシ アカガシ ユズリハ hinoki cypress (Chamaecyparis obtusa)
5		2.1	0.18		
10		2.8	0.25		
25		3.1	0.28		
50		4.3	0.39		
100		5.5	0.49		
300		9.0	0.81		
500		11.4	1.02		
1,000		12.3	1.10		
2,000		15.7	1.73		
ヒノキ	—	1.45	0.38	0.80	

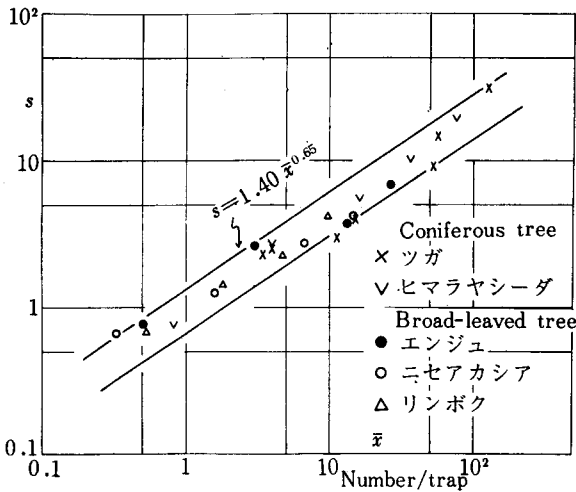


Fig. 5-5 $s \sim \bar{x}$ relation of fallen leaves per types of leaves (Experiment B)

入った落葉量を重量にすると、一枚の葉の重さが樹種によって差があり、枚数で調べた $s \sim \bar{x}$ 関係の勾配が1より小さいので、上限式の定数 A の値は樹種によって異なってくる。重い葉の樹種ほど A の値は大きくなるだろう。

そこで A の値を葉の大きさごと（1枚の葉の平均葉重別）に求め表5-1に示し、それに該当する樹種を付記した。表5-1に示した計算でえた上限式を両対数グラフに図示し、実験に使った代表的な6樹種の実測値 s, \bar{x} をプロットすると（図5-5）、計算で求めた A と、実験でえた A とがほぼ一致した。

b) 均質な林冠下でのリター・トラップの大きさと設置数

上の模型実験で、落葉の分散は、トラップに入る量によって主に左右されることが出来た。そして $s \sim \bar{x}$ の関係は実験した範囲内では、両対数グラフ上で直線となった。しかも、この直線関係の勾配は1より小さいので、入る物を増やす、すなわちトラップの面積を大きくすることによって、 s すなわち分散を小さくし、落葉を精度良く測ることが出来ると考えられる。

これらの関係をつかって、トラップの大きさと設置数について考察してみよう。

正規分布をする母集団における母平均を m 、トラップ数を n とすると

$$m = \bar{x} \pm \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

\bar{x} : 標本の平均値

s : 標準偏差 ($= \sqrt{[\sum x^2 - (\sum x)^2/n]/(n-1)}$)

t : スチューデントの“ t ”

であるから、相対誤差を ε とすると、

$$n = \frac{t^2 \cdot (C.V.)^2}{\varepsilon^2} \quad (C.V. = s/\bar{x}) \quad (2)$$

となる。

5(a) で述べたように、 $s \sim \bar{x}$ 関係の最も分散の大きい上限式は実験的に、

$$s = A \cdot \bar{x}^h \quad (3)$$

となった。したがって(3)式は

$$C.V. = A \cdot \bar{x}^{h-1} \quad (4)$$

となり、(2)、(4)式から

$$\bar{x} = \left(\frac{\varepsilon}{t \cdot A} \right)^{\frac{1}{h-1}} \cdot n^{\frac{1}{2(h-1)}} \quad (5)$$

定数 A, h は既知だから、測定精度 t と ε を決め、トラップの設置しようとする数 n を決めれば

\bar{x} が求まる。すなわち一つのトラップに入る落葉量の最小値が求まるわけで、この \bar{x} よりも多くの落葉が入る大きさのトラップを設ければよいことになる。

測定しようとする林分の単位面積当りの落葉量を N (落葉の密度と呼ぶ, $\text{mg}/100\text{cm}^2\cdot\text{yr}$) とすると, \bar{x} と N の比から,

$$\frac{\bar{x}}{N} \times 100 = l^2 \quad (6)$$

$l\text{ cm} \times l\text{ cm}$ の正方形トラップの大きさが決まる。(5)(6)式から,

$$l^2(\text{cm}^2) = \frac{100}{N} \left(\frac{\varepsilon}{t \cdot A} \right)^{\frac{1}{h-1}} \cdot n^{\frac{1}{2(h-1)}} \quad (7)$$

$$l(\text{cm}) = \frac{10}{\sqrt{N}} \left(\frac{\varepsilon}{t \cdot A} \right)^{\frac{1}{2(h-1)}} \cdot n^{\frac{1}{4(h-1)}} \quad (8)$$

となり, 正方形トラップのばあいの一辺長 $l\text{ cm}$ が求まる。

全トラップによる採集面積 $z(\text{m}^2)$ は,

$$z = n l^2 / 10^4 \quad (9)$$

であるから, (7)式から,

$$z(\text{m}^2) = \frac{1}{100N} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{t \cdot A} \right)^{\frac{1}{h-1}} \cdot n^{1 + \frac{1}{2(h-1)}} \quad (10)$$

となる。すなわち必要な採集面積は, 設置するトラップの数によって影響を受け, $h < 1$ のばあいは, n がふえると z は小さくなる。 z/n から一つのトラップの面積が求まる。

例えば, いまツバキの純林での落葉量を信頼度 95% ($t=2$), 相対誤差 $\varepsilon=10\%$, トラップ 10 個で年間落葉量を測定しようとする。このツバキ純林の林冠が均質で, 林床で落葉の分布を調べたら均質であったとしよう。ツバキの葉の 1 枚の平均重さは約 $300\text{ mg}/1\text{ 枚}$ (乾重) だから, 表 5-1 から $s \sim \bar{x}$ 関係の上限式の係数 $A=9.0$, $h=0.65$ である。(5)式より \bar{x} は 1.03×10^5 となり, この \bar{x} の値より多くの葉が入るトラップを作ればよい。ツバキ林の落葉の密度 N を $3,000\text{ mg}/100\text{ cm}^2\cdot\text{年}$ と仮定すると, \bar{x}/N は 34.3 倍, ゆえに $l \doteq 59\text{ cm}$ となる。

林分の年間落葉量は $1 \sim 8\text{ ton}/\text{ha}\cdot\text{yr}$ のひらきがあるから, 上の \bar{x} の 3 倍, すなわち l の $\sqrt{3}$ 倍, $l \doteq 100\text{ cm}$ とすればなおよい。

季節変化を調べるばあいには, 求めようとする最も落下量の少ない月の量を仮定し, この時の N を決めればよいわけである。たとえば, ある月の落下量が年間量の 1% であれば $N=30$ とする。

定数 A , h は既知であり, ε , t , N を決めればよいわけだから, (8)式および(10)式は次のように書きかえることが出来る。

$$l(\text{cm}) = A_1 \cdot n^{h_1} \quad (11)$$

$$z(\text{m}^2) = A_2 \cdot n^{h_2} \quad (12)$$

A_1 , h_1 および A_2 , h_2 の定数の値を葉の大きさごとに計算して表にした (表 5-2, 5-3)。

以上から, トラップの設置数 n を決めれば, 表 5-2, 5-3 の葉の大きさから該当する定数の値を読みとり, (11)式と(12)式に代入して, ・トラップの大きさ, あるいは採集の全面積を計算で求めることが出来る。この計算の例を表 5-4 に示しておいた。ただし, このばあい林冠が均質な林分という条件が併う。先例のツバキ林では 1 枚の葉重 300 mg だったから, 表 5-4 の $n=10$ との交叉する所の値 $l=59\text{ cm}$ を読めばよい。また, ヒノキ林で $t=2$, $\varepsilon=10\%$, $n=10$ とすると, 表 5-4 から $z=2.2\text{ m}^2$, $l=47\text{ cm}$ と読みとれよう。

Table 5-2 Values of coefficient, A_t and h_t , in Eq. (11)

Leaf dry weight mg/l No.	h_t	A_t								
		$N = 3,000 \text{ mg/100 cm}^2 \cdot \text{yr}$						$N = 30$		
		$t=2$			$t=1$			$t=2$	$t=1$	
		$\varepsilon =$ 0.05	0.10	0.20	0.05	$\varepsilon =$ 0.10	0.20	$\varepsilon =$ 0.20	0.10	$\varepsilon =$ 0.20
1	↑ -0.715 ↓	41.2	15.3					75		
5		104	38.3	14.3				143		52.8
10		156	57.8	21.5				215		79.7
25		181	66.9	24.9				249		92.1
50		289	107	39.8			14.7	398		147
100		409	151	56.3			20.8	563		208
300		832	308	115	see { $t=2$ $\varepsilon=0.10$	see { $t=2$ $\varepsilon=0.20$	42.4	1,150	see { $t=2$ $\varepsilon=0.20$	424
500		1,170	431	161			59.4	1,610		594
1,000		1,300	480	179			66.2	1,790		662
2,000		1,840	681	253			93.8	2,530		938
ヒノキ*	-1.25	4,680	829	147			25.9	1,470		259

* hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*)Table 5-3 Values of coefficient, A_z and h_z in Eq. (12)

Leaf dry weight mg/l No.	h_z	A_z								
		$N = 3,000 \text{ mg/100 cm}^2 \cdot \text{yr}$						$N = 30$		
		$t=2$			$t=1$			$t=2$	$t=1$	
		$\varepsilon =$ 0.05	0.10	0.20	0.05	$\varepsilon =$ 0.10	0.20	$\varepsilon =$ 0.20	0.10	$\varepsilon =$ 0.20
1	↑ -0.43 ↓	0.167	0.023					0.317		0.034
5		1.06	0.146	0.020				2.02		0.278
10		2.42	0.333	0.046				4.59		0.632
25		3.23	0.445	0.061				6.14		0.845
50		8.25	1.13	0.157			0.022	15.7		2.16
100		16.7	2.29	0.317			0.044	31.7		4.36
300		68.3	9.38	1.30	see { $t=2$ $\varepsilon=0.10$	see { $t=2$ $\varepsilon=0.20$	0.178	130	see { $t=2$ $\varepsilon=0.20$	17.8
500		134	18.4	2.54			0.350	254		34.9
1,000		167	22.9	3.17			0.436	317		43.6
2,000		335	46.0	6.36			0.876	636		87.5
ヒノキ*	-1.50	2,200	68.4	2.14			0.067	214		6.69

* hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*)

Table 5-4(1) Size and number of square traps and total catching area of all the traps per leaf weight or species (without hinoki cypress)

	Leaf dry weight mg/l No.	Number of traps (n)							
		3	5	8	10	15	20	30	40
l (cm)	1								
	5	17	12						
	10	26	18	13	11				
	25	31	21	15	13	10			
	50	49	34	24	21	16	13		
	100	69	48	34	29	22	18	13	11
	300	140	97	70	59	45	36	27	22
	500	200	135	97	83	62	50	38	31
	1,000	220	150	110	93	70	56	42	34
	2,000	310	220	155	130	99	80	60	49

Table 5-4(1) の続き

z (m ²)	1								
	5	0.1	0.1						
	10	0.2	0.2	0.1	0.1				
	25	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1		
	50	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
	100	1.4	1.1	0.9	0.9	0.7	0.6	0.5	0.5
	300	5.8	4.7	3.8	3.5	2.9	2.6	2.2	1.9
	500	11.5	9.2	7.5	6.8	5.7	5.1	4.3	3.8
	1,000	14.3	11.5	9.3	8.5	7.1	6.3	5.3	4.7
	2,000	28.7	23.0	18.7	17.1	14.3	12.7	10.7	9.4

l : Side length of a square trap

z : Total catching area of all the traps ($=n \times l^2$)

Table 5-4(2) Size and number of square traps and total catching area of all the traps in hinoki cypress

		l	ε	Number of traps (n)							
				3	5	8	10	15	20	30	40
$N=3000$ mg/100 cm ² ·yr	l (cm)	2	0.05			350	265	160	110	66	47
			0.10	210	110	62	47	28	20	12	
			0.20	37	20	11					
	z (cm ²)	2	0.05	420	200	97	70	38	25	13	8.7
			0.10	13	6.1	3.0	2.2	1.2	0.8	0.4	0.3
			0.20	0.4	0.2	0.1	0.1				
$N=30$ mg/100 cm ² ·month	l (cm)	2	0.20	370	200	110	83	50	35	21	15
		1	0.10								
	z (m ²)	2	0.20	40	19	9.5	6.8	3.7	2.4	1.3	0.8
		1	0.10								

N : Amount of fallen leaves per 100 cm²

6. 討 論

従来から使われてきた4種類のトラップ(正方形, 円形, 正三角形, 長方形)を, 均質な模型の林冠下に配置して, 人為的な落葉をさせて, リタートラップに関係した2,3の不明な点を実験的に解明しようと試みた。

まず, トラップの形の違いについてみてみよう。落葉の大きさにくらべて極端に小さいトラップを除いて, 他の各トラップ(長方形トラップは除く)の平均落葉量を統計的に相互に比較検定した。数個の組合せに例外はあるが, 有意差は認められなかった($P > 0.10$)。例外的な数個の組合せについてみると, 形のちがいによる一定の傾向はなかった。したがって, 落葉を採集するばあい, 上にのべたトラップの形状による入量の差は統計的に検討すると, ほとんど認められないと言えよう。一方, 図2-1, 2-2にみられるように, 正方形トラップに入量は円形のばあいより多く入った場合が多く, また正三角形のものは正方形のものより多い傾向があるという解釈もできよう。また, 各実験の単位面積当りの落葉量を基準にみると, 正方形トラップによるばあいが一番よく一致し, 円形が少なく, 正三角形が多い傾向があるとも見ることができよう。

桐田(1967)⁷⁷⁾が, ナンキンハゼ林分と照葉樹林での落葉を使って, トラップの形による相違を検討し, 上と同じ結果を報告している。すなわち, 統計的には差はない。しかし平均量は正方形トラップによる方が, 円形トラップによるよりも, 僅かであるが多い傾向があるという。

いづれにせよ, これら3種のトラップ(正方形, 円形, 正三角形)間の落葉推定量の差はごく

少ない。また均質な林冠を作っても落葉は集中的な落下の仕方をし、量が少ないと変動係数が大きくなることもあって、正方形、円形、正三角形のトラップでどの形が落葉量の真値に近い量を採集するのに最も適当であるか結論がえられなかった。

下で述べるが、トラップの周辺長が長くなる(同面積の円形トラップに比べ)と、入る量に(一)の影響を与えるのでこの意味から円形トラップが良いと言える。ただし、本実験結果はむしろ、正方形トラップの方が円形のものより入る量が多かった。

一方、トラップの作りやすさの点からは正方形トラップが良いと考える。

正三角形のトラップは以前に種子トラップとして使われているが⁽⁷³⁾⁸²⁾、将来リターフォール測定に使われる可能性は少ないと思われる。正方形、円形、長方形に限られるだろう。

なおこのことからトラップの角の存在や、その角度の大小という問題もあるが、あまりにも実用性に乏しいと思われるので、本論文ではとり上げなかった。

最小の大きさのトラップを落葉の大きさと関係づけて考えてみた(表3-1)。落葉の中で最も大きい葉長に対する正方形トラップの一辺長(各実験における単位面積当りの落葉量を±10%以内の精度で推定しえた最小トラップの)の比 L_T/L_{max} をもとめた。この比は0.5~2.9(平均1.5)にあった。したがって、大きい落葉の約2倍以上の長さの真口をもつ大きさのトラップを作る必要があることになる。

しかし大半のものは、トラップ数が十分ならば落葉が入りさえすれば落葉量を±10%以内で推定している。小村他²⁷⁾(1967)がアカマツ林、ツガ林で30 cm以上の直径をもつ円形トラップで3種類の大きさのトラップによる差を調べ、有意義のないことを報告しているが、上の最小トラップの大きさ(L_T/L_{max} が2以上)から考えて当然の結論といえよう。

この L_T/L_{max} 比は針葉形や広葉形の落葉から得た結果であるから、落葉以外の他の器官のばあいにも適用できるとと思われる。すなわち、トラップの最小の大きさは、落下物の長さによって左右されることになる。落葉推定では天然の L_{max} は比較的小さく、30 cmを超えるばあいは日本では非常に少ないから問題はないが、落枝など大型のリターフォールを測定するばあいにはかなり重要なことである。測定するリターフォールの大きさに応じてトラップの大きさを変える必要があるわけである。したがって、Carlisle (1966)⁶⁵⁾ のように、枝の大きさごとにトラップの大きさを変えているのは大層意味があり、理にかなった方法であったと言えよう。

落下物の分散が非常に不均一のばあい、よく長方形の枠でそれを測定するが、この方法は分散をまるめる方法として常識的でよく使用される方法⁴⁵⁾だが、同じ面積をもつ円の周長にくらべこの長方形の周辺長は何倍も大きい。この周辺長が極端に長いことの影響について少し考察した。細長いトラップ(1 cm×100 cmとか2 cm×50 cm)をつかうと、採集比はすべて1より小さくなった。これには L_T/L_{max} による影響も考えられる。しかし、いま同じ L_T/L_{max} のときの採集比をみると(図4-1, 4-2)、トラップが細長いほど、採集比は小さくなっている。

トラップ1 cm×100 cmでは L_T/L_{max} が4でも採集比は0.9であり、トラップ2 cm×50 cmの L_T/L_{max} が7でも採集比は0.95となっている(図4-2)。これらは L_T/L_{max} の問題以外の影響によるものと思われる。

実験につかった長方形トラップの周辺長は、同面積の円形の周長にくらべ、5 cm×20 cmで1.4倍、2 cm×50 cmで2.8倍、1 cm×100 cmで5.6倍と大きい。このようなトラップ周辺長の長さが、ある形をもった落葉を採集するばあい、入る量に(一)の影響を与えていると考えることが出来よう。実験結果からトラップ5 cm×20 cmでは採集比がほぼ1前後になっているから、長方形を使用するばあいは、仮りに狭い方の巾が十分広くても(L_T/L_{max} が2以上)、この5 cm×20 cmの形(たて:よこ=4:1)よりも細長い形にしないよう注意しないと過少推定量を得る可能性がある。

正方形や正三角形の周辺長は、同面積の円のそれにくらべて各々 1.13, 1.28 倍だから、このばあい少くとも周辺長の(一)の影響はほとんど考えなくてよからう。

均質な模型林冠下での落葉の分散について考えてみた。一般に、分散 s^2 は平均量 \bar{x} にかかわり合いをもつ値である。そこで s と \bar{x} を両対数グラフ上に図示すると、実験を行なった \bar{x} の範囲内では、 $s \sim \bar{x}$ の間に直線の関係がえられた。この関係はトラップの形、大きさ、葉の形、および一回の落葉量(実際のばあい測定期間に相当)に関係なく成立した。

しかも、この実験式の勾配は 1 より小さく、 \bar{x} が大きくなると s がより小さくなることを示している。すなわち、トラップの面積を大きくすることによって、 s を小さくし、バラツキを小さくしてリターフォールを精度よく測ることができることを指示している。

$s \sim \bar{x}$ 関係の \bar{x} の単位は、トラップ単位での量で表した(図 5-1~4)。そして枚数では \bar{x} は $0.1 \sim 10^2$ 枚/トラップだから、実験範囲は 10^3 の差がみられることになる。この差は、現実林分の落葉量を 3 ton/ha·yr とすると、 $0.3 \sim 300$ g/m²·yr にあたり、月単位での落葉量測定の結果をほぼカバーする範囲と考えられる。

さて、この $s \sim \bar{x}$ 関係で一番バラツキの大きい上限式は

$$s = A \cdot \bar{x}^h \quad A, h \text{ 定数}$$

で求められた。この式は実験的に $h < 1$ だから、 \bar{x} を大きくする、すなわちトラップを大きくして s を小さくし精度を高くしてトラップの大きさ(正方形トラップの一辺長 l cm)や、全トラップによる採集面積(m²)を、設置するトラップ数 n と関係づけ求めることが出来た。

すなわち、

$$l(\text{cm}) = A_l \cdot n^{h_l}$$

$$z(\text{m}^2) = A_z \cdot n^{h_z}$$

で、定数 A_l, h_l, A_z, h_z は、葉の大きさごとにきまり表 5-2, 5-3 にまとめた。さらに l, z の計算例を表 5-4 に上げた。これから測定計画の段階でほぼ測定精度を知ることが出来よう。

上の 2 式からわかるように、 l および z は n の指数函数となり、実験的に $h < 1$ だったから h_l, h_z はマイナスの値となる。 n を大きくすると l, z は小さくなる。だから、大きいトラップを少数設けるか、逆に小さいトラップにすれば多数設ける必要がある。ただし、小さいトラップを使うときは、最小トラップの問題(L_T/L_{\max} が 2 以上)を考慮して決める。

z が決まると、 z/n によってトラップ一個の面積が求まり、円形や長方形のトラップを計算で決めればよいが、長方形のトラップのばあいは周辺長の問題(同面積の円形の周辺長にくらべた比)を忘れてはならない。

文 献

- 1) Ovington, J. D.: Quantitative ecology and the woodland ecosystem concept, Adv. Ecol. Res., 1, 103-192, (1962)
- 2) Duvingneaud, P. and S. Denacayer-De Smet: Biological cycling of minerals in temperate deciduous forests, (Analysis of temperate forest ecosystems, ed. by D. E. Reichle, New York), 199-225, (1970)
- 3) 河原輝彦: Litter fall による養分還元量について (II) 有機物量および養分還元量, 日林誌, 53, 231~238, (1971)
- 4) ————・岩坪五郎・西村武二・堤利夫: カンレンボク模型林分における物質の動き, 日林誌, 50, 125~134, (1968)
- 5) 岩坪五郎・西田八洲男・堤利夫: 森林生態系における養分物質の循環について——上賀茂試験地のヒノキ林と広葉樹林のばあい, 天然林の一次生産力の比較研究班中間報告(昭和 43 年度), 75~78, (1969)

- 6) Ebermayer, E.: Die gesammte Lehre der Waldstreu, Berlin, (1876)
- 7) Dankelmann: Streuertragstafel für Kiefernbestände, Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, **19**, 457~466, (1887)
- 8) Laspenres: Der Einfluß der Streunutzung auf den Holzwuchs in den Kiefernbeständen des nordost-deutschen Flachlands, Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, **30**, 521~537, (1898)
- 9) Laspenres: ———, ———, **30**, 581~609, (1898)
- 10) 守屋重政: 落葉の成分及び森林土壌の変成に関する研究 (第1回報告), 林業試験報告, **10**, 153~161, (1913)
- 11) 加藤知重: 森林落葉問題 (1), 御料林, **48**, 62~78, (1932)
- 12) 穴吹規矩士: 林地落葉の取扱方について, 朝鮮山林会報, **113**, 35~44, (1934)
- 13) 大政正隆・森徑一: 落葉に関する二, 三の研究, 林業試験報告, **3**, 41~107, (1937)
- 14) Sims, I. H.: Litter deposition and accumulation in the Pine-oak type of the Southern Appalachians, J. For. **30**, 90~91, (1932)
- 15) 堤 利夫・岡村巖・四手井綱英: 林木落葉の分解について (II), 京大演報, **33**, 187~198, (1961)
- 16) Nye, P. H.: Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest, Plant & Soil, **13**, 333~346, (1961)
- 17) Witkamp, M. and Drift, J. van der: Breakdown of forest litter in relation to enviromental factors, Pland & Soil, **15**, 259~311, (1961)
- 18) Madge, D. S.: Leaf fall and litter disappearance in a tropical forest, Pedo., **5**, 273~288, (1965)
- 19) Woodwell, G. M. and T. G. Marples: The influence of chronic gamma irradiation on production and decay of litter and humus in an oak-pine forest, Ecol., **49**, 456~465, (1968)
- 20) 蜂屋欣二・藤森隆郎・榎秋一延・安藤貴: アカマツ幼令林の葉量および落葉量の季節変化, 林試研報, **191**, 101~113, (1966)
- 21) 蒲谷 肇・佐藤大七郎: 海岸クロマツ林における落葉採集と栄養欠乏, 第78回日林講, 301~303, (1967)
- 22) 只木良也・香川照雄: 森林の生産構造に関する研究 (XIII) コジイほか2,3の常緑樹林における落葉枝量の季節変化, 日林誌, **50**, 7~13, (1968)
- 23) 佐藤昭敏・加藤亮助: アカマツ幼令林における落葉落枝の量季節変化 (予報), 第20回日林講東北支部, 54~57, (1968)
- 24) 安藤辰夫 (名古屋営林局): 亜高山帯の森林施帯に関する研究 (II) 亜高山帯林の生産構造と生産力について (1), (報告書), 1~32, (1969)
- 25) 赤井竜男・古野東洲: テーダマツ幼令林の落葉量と被食量について, 京大演報, **42**, 83~95, (1971)
- 26) 斎藤秀樹・堤利夫: ヒノキ林の落葉枝量の空間分布について, 森林の一次生産測定法の研究班中間報告 (昭和41年度), 61~64, (1967)
- 27) 小村精・宮田逸夫・細川隆英: アカマツ林・ツガ林の落葉枝量, ———, 69~71, (1967)
- 28) 斎藤秀樹・堤利夫: ヒノキ林の落葉枝量の空間分布について, ——— (昭和42年度), 40~43, (1968)
- 29) 斎藤秀樹・四手井綱英: ヒノキ林の落葉枝量の空間分布——リタートラップの大きさとその必要数について——, 天然林の一次生産力の比較研究班中間報告 (昭和44年度), 23~34, (1970)
- 30) 安藤貴・竹内郁雄・宮本知子: スギ幼令林の現存量とリター量とリター量の季節変動ならびに養分吸収量と還元量, ———, 35~41, (1970)
- 31) 河原輝彦: Litter fall による養分還元量——Litter fall の養分含有率の季節変化, ———, 79~84, (1970)
- 32) 志賀山特別研究地域一次生産グループ: JIBP 志賀山特別研究地域亜高山帯針葉樹林のリター量, ——— (昭和45年度), 6~8, (1971)
- 33) 安藤 貴・千葉喬三・牟田克美: モミ・ツガ林のリター量 (1969年の値), ———, 9~14, (1971)
- 34) 佐藤大七郎 (編): アカマツ林の一次生産力 (合同調査), 人工林における一次生産力の研究班中間報告 (昭和43年度), 5~23, (1969)
- 35) ———: アカマツ林の一次生産力 (季節変化, 合同調査), ——— (昭和44年度), 6~43, (1970)
- 36) 斎藤秀樹: 水俣照葉樹林の落葉枝量の測定A, 落葉枝量の空間分布について, 照葉樹林の生物生産に関する研究 (昭和42年度), 83~91, (1969)
- 37) 桐田博充: ———B, 落葉枝量の季節変化, ———, 74~82, (1969)
- 38) 小村精・安藤 満: コジイ林の落葉量, ——— (昭和44年度), 50~55 (1970)
- 39) 河原輝彦・堤利夫: Litter fall による養分還元量について (I) 養分含有率の季節変化, 京大演報, **42**, 96~102, (1971)
- 40) Ovington, J. D.: Flower and seed production, the source of error in estimating woodland production,

- energy flow and mineral cycling, *Oikos*, **14**, 148~153, (1963)
- 41) 斎藤秀樹・四手井綱英：カンレンボク小型林分の葉令に関する2,3の考察, 日生態誌, **18**, 230~234, (1968)
 - 42) 只木良也・四手井綱英：森林の生産構造に関する研究 (I) アキニレ稚樹林における葉量の時期的変化と乾物生産, 日林誌, **42**, 427~434, (1960)
 - 43) Kira, T. and T. Schidei: Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the Western Pacific, *Jap. J. Ecol.*, **17**, 70~87, (1967)
 - 44) 小川房人：植物群落の物質収支表と物質生産測定項目, 森林の一次生産測定法の研究班中間報告 (昭和41年度), 4~11, (1967)
 - 45) Kira, T., H. Ogawa, K. Yoda and K. Ogino; Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand IV. Dry matter production, with special reference to the Khao Chong rain forest, *Nature and Life in SE Asia*, **5**, 149~174, (1967)
 - 46) Newbould, P. J.: Method for estimating the primary production of forests, *IBP Handbook No. 2*, (1967)
 - 47) Muller, D. et Nielsen, J.: Production brute, per respiration et production nette dans la forêt ombrophile tropicale, *Forstl. Forsøgsv. Denmark*, **29**, 69~160, 1965
 - 48) Tadaki, Y.: Studies on production structure of forest (VII) The primary production of a young stand of *Castanopsis cuspidata*, *Jap. J. Ecol.*, **15**, 142~147, (1965)
 - 49) Tadaki, Y.: ———(XIV) The Third-Report on the primary production of a young stand of *Castanopsis cuspidata*, *J. Jap. For. Soc.*, **50**, 60~65, (1968)
 - 50) 只木良也・尾方信夫・長友安男：森林の生産構造に関する研究 (XI) サシキスギと実生スギの28年生造林地の物質生産力, 林試研報, **199**, 47~65, (1967)
 - 51) Satoo, T.: Primary production and distribution of produced dry matter in a plantation of *Cinnamomum camphora*—Materials for the studies of growth in stand 7. —, *Bull. Tokyo Univ. For.*, **64**, 241~275, (1968)
 - 52) 蜂屋欣二・棚秋一延・藤森隆郎：高密度のカラマツ幼令林の生長解析, 日林誌, **48**, 445~448, (1966)
 - 53) 菅 誠・斎藤秀樹・四手井綱英：常緑広葉樹林の物質生産力について, 京大演報, **37**, 55~75, (1965)
 - 54) 斎藤秀樹・四手井綱英・吉良竜夫：ツバキ林の生産構造と物質生産量, 日生態誌, **15**, 131~139, (1965)
 - 55) 斎藤秀樹・河原輝彦・四手井綱英・堤 利夫：若いメタセコイア林分の物質生産量について, 京大演報, **41**, 80~95, (1970)
 - 56) 湯浅保雄：クスノキ模型林分における葉量の時期的変化, 第16回日林講中部支部, 99~105, (1968)
 - 57) Bray, J. R. and E. Gorham: Litter production in forest of the world, *Adv. Ecol. Res.*, 2 (ed. Cragg, J. B.), London and New York, (1964)
 - 58) Sykes, J. M. and R. G. H. Bunce: Fluctuations in litter fall in a mixed deciduous woodland over a three-year period 1966-68, *Oikos*, **21**, 326~329, (1970)
 - 59) Kubiček, F.: Measurement of organic matter fall from trees and shrubs in the BĀB forest, *Res. Project, Báb, Progr. Rep.*, **1**, 91~93, (1970)
 - 60) Greenland, D. J. and J. M. L. Kowal: Nutrient content of the moist tropical forest of Ghana, *Plant and Soil*, **12**, 154~174, (1960)
 - 61) 松原七郎：コジイ林葉群中の灰分およびカルシウムの季節変化と年間還元量——スダジイ群団の生態的特性について, 日生態誌, **15**, 25~29, (1965)
 - 62) 千葉喬三・堤 利夫：アカマツ林の物質循環について I アカマツ林の落葉量について, 第14回日林講関西支部, 18, (1964)
 - 63) 千葉春美・石井幸夫：テーダマツとアカマツ林分における落葉量と土壌について, 日林誌, **51**, 325~327, (1969)
 - 64) 伊藤悦夫・稲川梧一・佐敷修：林内雨の養分循環に果たす役割, 静大農報, **14**, 189~202, (1964)
 - 65) Carlisle, A., A. H. F. Brown and E. J. White: Litter fall, leaf production and the effects of defoliation by *Tortrix viridana* in a sessile oak (*Quercus petraea*) woodland, *J. Ecol.*, **54**, 65~85, (1966)
 - 66) Alway, F. J. and R. Zon: Quantity and nutrient contents of pine leaf litter, *J. For.*, **28**, 715~727, (1930)
 - 67) Metz, L. J.: Weight and Nitrogen and calcium content of the annual litter fall of forest in the South Carolina Piedmont, *Soil Sci. Soc. Pro.*, **16**, 38~41, (1952)
 - 68) Kimura, M.: Dynamics of vegetation in relation to soil development in Northern Yatsugatake

- Mountains, Jap. J. Bot., **18**, 255~287, (1963)
- 69) Jenny, H., S. P. Gessel and F. T. Bingham: Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions, Soil Sci. **68**, 419~432, (1949)
- 70) Hopkins, B.: Vegetation of the Olokemeji Forest Reserve, Nigeria IV. The litter and soil with special reference to their seasonal changes, J. Ecol. **54**, 687~703, (1966)
- 71) Cornforth, I. S.: Leaf-fall in a tropical rain forest, J. App. Ecol., **7**, 603~608, (1970)
- 72) Carlisle, A., A. H. F. Brown and E. J. White: The nutrient content of tree stem flow and ground flora litter and leachates in a sessile oak (*Quercus petraea*) woodland, J. Ecol. **55**, 615~627, (1967)
- 73) Thompson, R. L. and B. S. McGinnes: A comparison of eight types of mast traps, J. For., **61**, 679~680, (1963)
- 74) Show, M. W.: Factors affecting the natural regeneration of sessile oak (*Quercus petraea*) in North Wales I A preliminary study of a corn production, viability and losses, J. Ecol., **56**, 565~583, (1968)
- 75) Phares, R. E. and N. F. Rogers: Bushel baskets make low cost-seed and litter traps, J. For., **58**, 398~399, (1960)
- 76) Boe, K. N.: A one-foot-square wire seed trap, J. For., **53**, 368~369, (1955)
- 77) 桐田博充: 形のことなるリター・トラップの比較, 森林の一次生産測定法の研究班中間報告 (昭和41年度), 65~68, (1967)
- 78) 角張嘉孝・丸山幸平: ブナ天然林の落葉量と海拔高について——ブナ林の生態学的研究——, 第82回日林講, 55, (1971)
- 79) 村井 宏: 森林植生による降水のしゃ断についての研究, 林試研報, **232**, 25~64, (1970)
- 80) 佐々朋幸・佐藤大七郎: リーフ・トラップによる落葉量測定法の検討, 第79回日林講, 49~50, (1968)
- 81) 斎藤秀樹・四手井綱英: 若いスギ林分での落葉枝量の推定方法について, 第19回日林講関西支部, 56~57, (1968)
- 82) Klawitter, R. A. and J. Stubbs: A reliable oak seed trap, J. For., **59**, 291~292, (1961)

Résumé

The purpose of this work is for the solution of basic problems on the measuring of leaf fall and the authors tried to examine it with the litter trap under the uniform model canopy.

1. The difference among the leaf fall caught by the traps of three different types (square, circle and triangle) was not recognized. Consequently, any type of them could be used in accordance with convenience.

2. The minimum size of a trap (L_T) required the front (side length in square or diameter in circle trap) whose length is twice as large as the maximum length (L_{max}) of the leaves ($L_T/L_{max} \geq 2$).

3. Even the area of a rectangular was same as that of a circle when the width of the rectangular was extremely narrow (short side length/ $L_{max} \geq 2$), minus effect on the value of measured leaf fall was recognized. It is better not to use the rectangular trap whose circuit length is more than about 1.4 times of the circle trap whose area is same as that of the rectangular trap.

4. The relationship between the standard deviation (s) and the mean value of leaf fall (\bar{x}) was experimentally drawn with the straight regression on logarithmic graph. This shows that this relationship is not affected by the difference of the trap types, trap sizes, leaf types (needle or broad leaf) and the amount of leaf fall.

On the upper limit of the extend on the graph the relationship between s and \bar{x} was,

$$s = A \cdot \bar{x}^h \quad (A, h; \text{constant})$$

in which \bar{x} stands for the weight or number of leaves. And h was experimentally smaller than 1.0 (0.8 in hinoki cypress and 0.65 in without hinoki cypress). Because of $h < 1$, s results in relatively smaller as \bar{x} becomes greater, that is, trap size becoming larger. So it was easy to calculate the size of a square trap ($l \text{ cm} \times l \text{ cm}$) or the total catching area of

all the traps (z) by combining with a number of traps (n).

The relations are as follows;

$$l = A_l \cdot n^{h_l}$$

$$z = A_z \cdot n^{h_z}$$

The constants, A_l , h_l , A_z and h_z were determined in accordance with the leaf size or species (Tab. 5-2, 3). The constants h_l and h_z were minus values, because h is experimentally smaller than 1.0, so it is necessary to use a small number of traps with a large size traps, or to use a large number of traps with small size traps. The required total catching area of all the traps is allowed to be smaller with a large number of traps. The values of l and z were shown in Tab. 5-4. In the condition of homogenous leaf fall on the floor, Tab. 5-4 will be able to use for the determination of trap size and the number of traps at the beginning time of the investigation.